

УДК 550.388.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРНОГО СЛОЯ F2 НА ОСНОВЕ ДАННЫХ 75-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА НА ТОМСКОЙ ИОНОСФЕРНОЙ СТАНЦИИ

Р.К. Хаитов, А.Н. Борисевич, С.А. Колесник, А.Г. Колесник

STUDY OF VARIATIONS IN THE F2-LAYER PARAMETERS WITH THE USE OF 75-YEAR MONITORING DATA PERFORMED AT TOMSK IONOSPHERIC STATION

R.K. Khaitov, A.N. Borisevich, S.A. Kolesnik, A.G. Kolesnik

Рассматриваются основные закономерности долгопериодных вариаций критических частот f_0F2 среднеширотной ионосферы, подтверждаются зависимости критических частот f_0F2 от солнечной активности и проводится расчет соответствующих коэффициентов кросскорреляции и регрессии. В качестве исходных данных используются результаты измерений Томской ионосферной станции за период 1936–2010 гг.

The basic pattern of long-term variations of critical frequencies f_0F2 mid-latitude ionosphere, confirmed dependence of critical frequency f_0F2 on solar activity and estimate the corresponding coefficients of cross correlation and regression. As a source of data used by the results of measurements of the Tomsk ionospheric station for the period from 1936 to 2010.

В работе использовались данные Томской ионосферной станции (ТИС), которая является первой регулярно действующей ионосферной станцией на территории бывшего СССР и четвертой в мире. В работе ТИС используется метод вертикального зондирования. Изучение долговременных трендов и вариаций параметров верхней ионосферы необходимо для развития физических представлений о природе солнечно-земных связей. Также эти исследования применяются для анализа пространственно-временного распределения электромагнитного фона в окружающей среде, влияющего, в свою очередь, на жизнедеятельность человека.

Целью работы является подтверждение на более длинном ряде данных, включающем полных шесть 11-летних циклов солнечной активности, основных закономерностей долгопериодных вариаций параметров среднеширотной ионосферы, подтверждение зависимости критических частот f_0F2 ионосферы от солнечной активности (СА) и расчет соответствующих коэффициентов кросскорреляции и регрессии по данным ТИС.

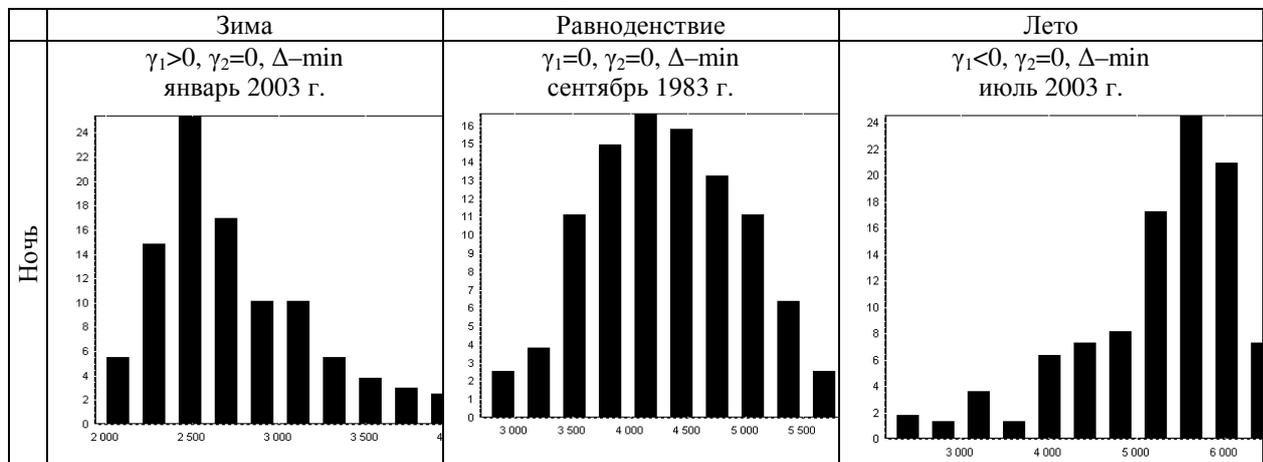
В работе проводился статистический анализ критических частот слоя F2 ионосферы в г. Томске за

период наблюдения с 1936 по 2010 г. [Руководство URSI, 1978]. Имеющийся ряд наблюдений получен в хронологическом порядке с помощью пяти радаров вертикального зондирования ионосферы: радар Кесениха и Булатова, венгерский радар, АИС (автоматизированная ионосферная станция), ионозонд «Парус» (производства ИЗМИРАН) и ионозонд «Диназонд-21» (производства «Scion Associates Inc», США) [Дымович, 1964].

Все статистические параметры и распределения были получены для трех интервалов времени: ночь, восход Солнца (рост электронной концентрации) и день. Была сформирована база данных статистических параметров для F2-слоя ионосферы: среднее значение, среднеквадратичное отклонение, коэффициент асимметрии (γ_1), коэффициент эксцесса (γ_2), ширина класса (Δ) [Пономарев, 1989]. Суммарный результат проведенных исследований по статистическим параметрам критических частот слоя F2 ионосферы в различные сезоны года и времени суток сводился в таблицы. В качестве примера представлена сводная табл. 1 статистик критических частот. Полученные результаты подкрепляются известными физическими представлениями [Колесник, 1993].

Таблица 1

Статистики критических частот F2-слоя



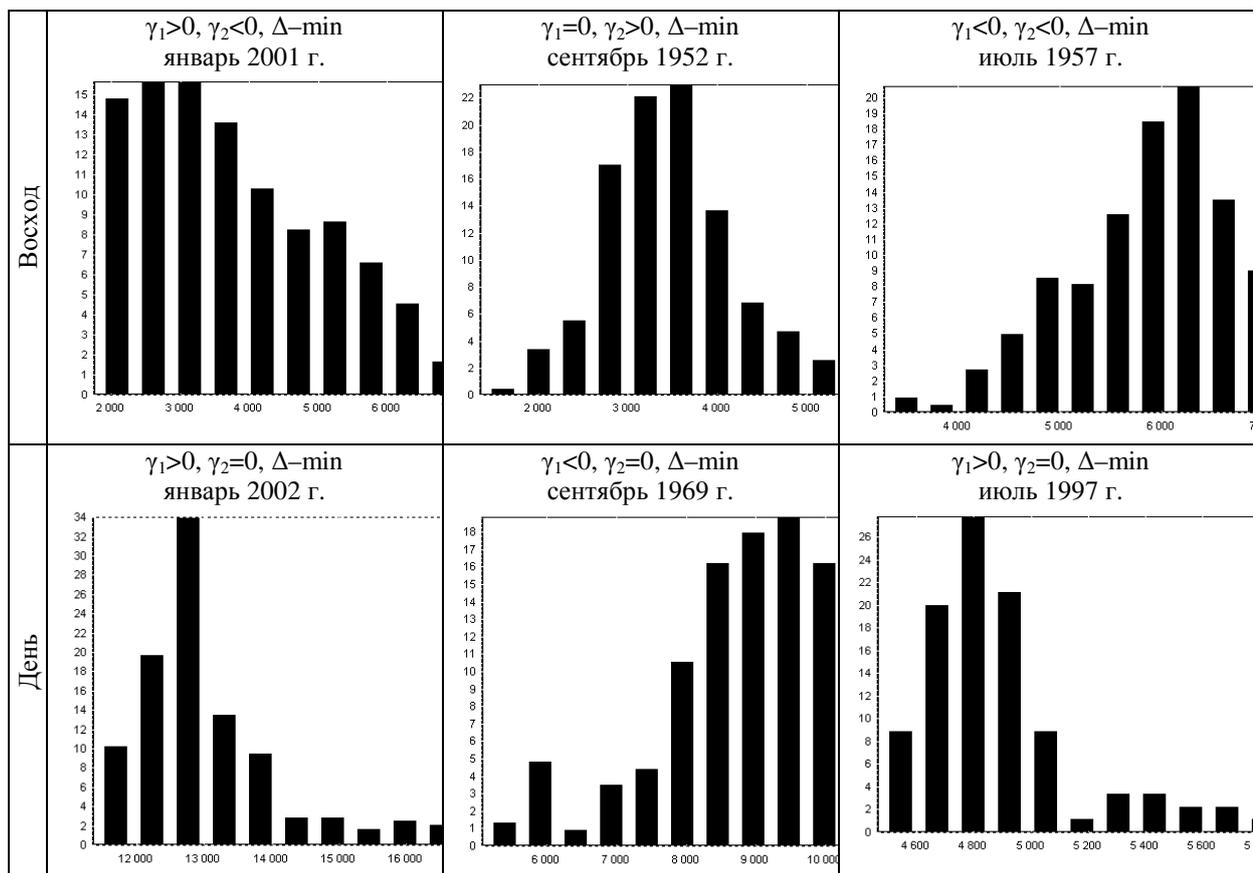


Таблица 2

Сводная таблица уравнений регрессии (коэффициенты в мГц).

месяц	Уравнение регрессии (1936–1962 гг.)	Уравнение регрессии (1936–2010 гг.)
1	$-0.00004385 W^2 + 0.04322 W + 5.8136$	$-0.00013876 W^2 + 0.07113157 W + 5.44480672$
2	$-0.00009 W^2 + 0.0568 W + 5.61$	$-0.00013707 W^2 + 0.07055139 W + 5.49987837$
3	$-0.000128 W^2 + 0.06016 W + 5.723$	$-0.0001091 W^2 + 0.0655631 W + 5.74335937$
4	$-0.000146 W^2 + 0.0602 W + 5.440$	$-0.00015789 W^2 + 0.07277643 W + 5.59562116$
5	$-0.0001048 W^2 + 0.04218 W + 4.973$	$-0.00009299 W^2 + 0.05340482 W + 5.58092877$
6	$-0.0007607 W^2 + 0.02942 W + 4.99$	$-0.00008172 W^2 + 0.03909717 W + 5.23443121$
7	$-0.0000755 W^2 + 0.02917 W + 4.784$	$-0.0000857 W^2 + 0.03213317 W + 5.03030763$
8	$-0.00004523 W^2 + 0.02477 W + 5.0852$	$-0.0000709 W^2 + 0.03029124 W + 4.88728976$
9	$-0.00008587 W^2 + 0.0449 W + 5.54$	$-0.00006018 W^2 + 0.03102344 W + 5.06573697$
10	$-0.0001174 W^2 + 0.0576 W + 6.306$	$-0.00009493 W^2 + 0.04738667 W + 5.42765481$
11	$-0.000147 W^2 + 0.07 W + 5.825$	$-0.00011977 W^2 + 0.06401326 W + 6.19879233$
12	$-0.0005893 W^2 + 0.04863 W + 5.523$	$-0.00013958 W^2 + 0.07366528 W + 6.10669011$

На рис. 1 построена кросскорреляционная функция суточных значений чисел Вольфа и критических частот слоя F2. Максимум показывает запаздывание реакции ионосферы относительно чисел Вольфа на 3 сут.

Далее было построено распределение максимальных критических частот F2-слоя в зависимости от чисел Вольфа для каждого месяца и посчитаны уравнения регрессии, определяющих зависимость максимальных значений f_0F2 от чисел Вольфа (W) по месяцам. Первые результаты, объясняющие регрессионную зависимость критических частот и чисел Вольфа от сезона года, представил в 1965 г. Лихачев А.И. в своей диссертации на соискание ученой степени доктора физ-мат. наук [Лихачев, 1965]. В своей работе он рассматривал ряд ТИС с 1936 по 1962 г. (неполных два 11-летних

цикла солнечной активности). Сейчас ряд охватывает полных шесть 11-летних циклов солнечной активности, т. е. является более актуальным и достоверным. Далее приводится для сравнения сводная табл. 2 регрессионных уравнений, полученных Лихачевым А.И. и в данной работе.

Регрессионные кривые изображены на рис. 2, на котором хорошо выражена сезонность зависимости максимальных критических частот от чисел Вольфа. Также видно, что линейность сохраняется приблизительно до значений $W=50-75$ единиц, при больших значениях нелинейный член уравнения регрессии, несмотря на малую величину коэффициента, сильно возрастает и линейность роста нарушается. Полученные нами результаты отличаются от результатов Лихачева А.И. [Лихачев, 1965], что объясняется различной длиной рядов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дымович Н.Д. Ионосфера и ее исследование. М.: Энергия, 1964. С. 43.

Колесник А.Г., Голиков И.А., Чернышев В.И. Математические модели ионосферы. Томск: МГП «Раско», 1993. С. 238.

Лихачев А.И. Зависимость состояния ионизации на уровне слоя F2 от поступления солнечной волновой энергии в атмосферу земли.: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук / Сибирский физико-технический институт. Томск, 1965. 330 с.

Пономарев Г.А., Пономарева В.Н., Якубов В.П. Статистические методы в радиофизике: Практикум с применением диалого-вычислительных комплексов. Томск: Изд-во Томск ун-та, 1989. С. 235.

Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм: Перевод с англ. второго издания «URSI Handbook of Ionogram Interpretation and Reduction» / Под ред. Н.В. Медниковой. М.: Наука, 1978. 342 с.

Томский государственный университет, Томск

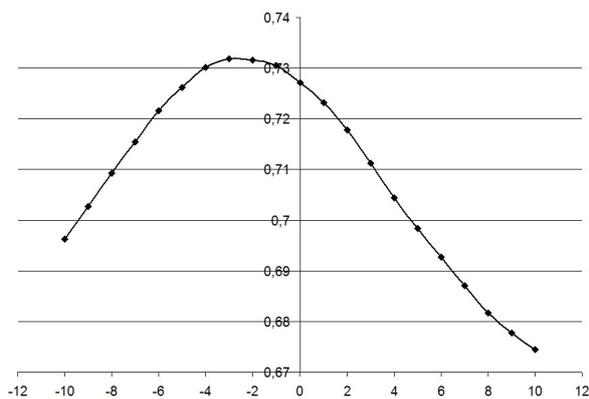


Рис. 1. Кросскорреляционная функция двух рядов (критические частоты F2-слоя и числа Вольфа).

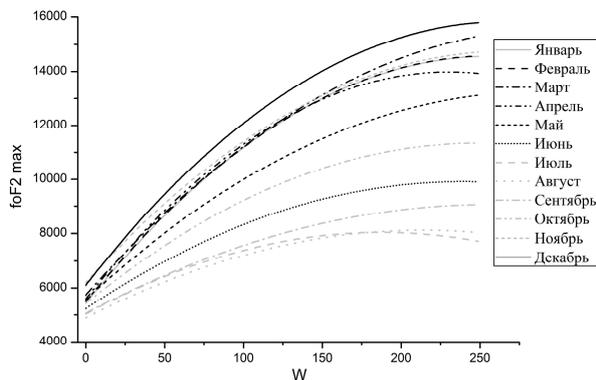


Рис. 2. Графики регрессионных уравнений.